

CORRELATEUR OPTO-ELECTRONIQUE ANALOGIQUE POUR LE TRAITEMENT EN PARALLELE DE SIGNAUX DE TYPE RADAR

N.LAOUAR, J.P.COEDGEBUER et R.FERRIERE

Laboratoire d'Optique P.M.Duffieux, UA CNRS 214  
 Université de Franche-Comté  
 25030 BESANCON Cedex

On propose une nouvelle architecture de corrélateur acousto-optique par intégration dans le temps qui permet de tirer parti des largeurs spectrales d'émission des sources, jusqu'à présent inexploitées en traitement du signal. L'intérêt réside dans la possibilité de traiter plusieurs signaux en temps réel. Les expériences de faisabilité ont été menées sur des signaux simples, avec des composants massifs (modulateurs électro et acousto-optiques) et une diode laser multimode. A l'issue de cette étude, les perspectives portent sur la réalisation d'autres types de processeurs développés en traitement radar tels qu'analyseurs de spectres multicanaux à haute résolution. Une seconde perspective concerne l'intégration des composants sur LiNbO<sub>3</sub> pour améliorer les performances.

A novel architecture of a time integrating acousto-optic correlator suitable for working with broadband sources is described. It allows to take benefit of the available spectral band of sources such as multimode laser diodes or superluminescent diodes which is unused in the systems reported so far. The advantage is in the capability of the system to process several signal simultaneously in real time. The feasibility has been demonstrated with audio and videofrequency signals and bulk electro and acousto-optic modulators, and a multimode laser diode. Other types of processors are currently developed in the area of radar signal processing such as multichannel spectrum analyzers using the chirp algorithm. Another trend deals with the integration of the components on LiNbO<sub>3</sub> in order to improve the system performance.

L'intérêt important que connaissent actuellement les techniques de traitement acousto- et électro-optiques de signaux de type radar (1,2) est dû, entre autre, à la cadence potentielle très élevée de traitement procurée par la lumière et à la possibilité de traitement parallèle. Diverses architectures ont été proposées pour le traitement simultané de plusieurs signaux afin d'accélérer les cadences de calcul. Elles font intervenir soit des cellules acousto-optiques à plusieurs canaux (12 voies, en projet, aux USA, 50 voies), soit des sources lumineuses multiples. Ce papier porte sur la démonstration d'une nouvelle technique de corrélation en parallèle de plusieurs signaux par multiplexage de cohérence (3,4). On en rapporte ici les premiers résultats expérimentaux. Une description plus détaillée de la méthode et du principe de fonctionnement fera l'objet d'une publication ultérieure.

Le multiplexage de cohérence est une méthode de modulation de la lumière dans laquelle les signaux à traiter sont codés sous forme de retards optiques supérieurs à la longueur de cohérence  $L = \lambda^2 / \Delta\lambda$  de la lumière ( $\lambda$  : longueur d'onde et  $\Delta\lambda$  : largeur spectrale de la source).

On montre alors que de tels retards optiques peuvent servir de porteuses pour différents signaux. Cette méthode a été récemment démontrée dans le domaine des télécommunications optiques avec la transmission simultanée de signaux vidéo-fréquences sur fibre optique (5,6), et dans celui des capteurs distribués (7,8) adaptés à la détection sonar. La suite montre qu'elle peut être également étendue aux problèmes de traitement de signaux en parallèle.

Dans la suite, l'opération analogique de corrélation est écrite sous la forme :

$$C(\tau) = V_1(t) * V_2(t) = \int V_1(t) \cdot V_2(t - \tau) dt \quad (1)$$

Le corrélateur multivoies présenté maintenant et conçu pour calculer simultanément et en temps quasi réel les produits de corrélation analogiques entre un signal  $V_3(t)$  et deux autres signaux  $V_1(t)$  et  $V_2(t)$ ,

c'est-à-dire :

$$C_1(\tau) = V_1(t) * V_3(t) = \int V_1(t) \cdot V_3(t - \tau) dt \quad (2)$$

$$C_2(\tau) = V_2(t) * V_3(t) = \int V_2(t) \cdot V_3(t - \tau) dt \quad (3)$$

La figure 1 représente le corrélateur multiplexé en cohérence utilisé pour démontrer la faisabilité de la méthode dans le cas du calcul simultané de deux produits de corrélation. Le montage comprend deux codeurs, une cellule acousto-optique et deux décodeurs affichant les produits de corrélation. Un codeur MEO<sub>1,2</sub> formé de cristaux d'ADP de coupe X 45° et une lame<sup>2</sup> biréfringente de quartz Q<sub>1,2</sub> placés entre eux polariseurs parallèles. Les retards optiques introduits par les lames de quartz Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub> sont D<sub>1</sub> = 420 microns et D<sub>2</sub> = 650 microns. D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> sont choisis de manière à être supérieurs à la longueur de cohérence de la source pour être dans les conditions de fonctionnement de modulation de cohérence évoquées précédemment. Chaque décodeur comprend une lame biréfringente Q'<sub>1</sub> et Q'<sub>2</sub> placée entre polariseurs P parallèles, suivie d'une barrette CCD<sub>1,2</sub> qui fournit le produit de corrélation cherché. Les lames biréfringentes Q'<sub>1</sub> et Q'<sub>2</sub> sont identiques à celles utilisées dans les étages<sup>2</sup> de codage. La cellule acousto-optique AO est un défecteur en TeO<sub>2</sub> (temps d'accès à 20 microsecondes) fonctionnant en régime de Bragg. Son image est formée sur les barrettes CCD<sub>1</sub> et CCD<sub>2</sub> par la lentille L. La source est une diode DL multimode, de longueur d'onde  $\lambda_0 = 820$  nm et de largeur spectrale  $\Delta\lambda = 3.7$  nm. Sa longueur de cohérence est L = 182 microns.

Le premier étage de codage Q<sub>1</sub>, MEO<sub>1</sub> code le signal  $V_1(t)$  appliqué sur le modulateur électro-optique MEO<sub>1</sub> sous forme d'un retard optique

$$D_1(t) = D_1 + KV_1(t) \quad (1)$$

où K est une constante liée aux caractéristiques du modulateur utilisé. De la même manière, le signal  $V_2(t)$  est codé sous forme d'un second retard optique



$$D_2(t) = D_2 + KV_2(t) \quad (2)$$

On montre alors que la distribution spectrale du rayonnement transmis par les deux codeurs disposés en cascade est donnée par :

$$E(\sigma) = \frac{1}{4} P(\sigma) \{1 + \cos 2\pi\sigma D_1(t)\} \{1 + \cos 2\pi\sigma D_2(t)\} \quad (3)$$

où  $P(\sigma)$  est la densité spectrale d'énergie émise par la diode laser.

La cellule acousto-optique AO a pour rôle de réaliser la multiplication instantanée des signaux et de moduler spatialement l'intensité de la source. Cette cellule fonctionne comme un déflexeur en régime de Bragg et est pilotée par un signal de fréquence fixe  $f = 110$  MHz modulé en amplitude par le signal  $V_3(t)$ . En régime linéaire, l'intensité lumineuse diffractée  $I_d$  est alors (2) :

$$I_d = I_{\text{incident}} \cdot \left\{ \frac{1}{2} + K_2 V_3 \left( t - \frac{x}{v} \right) \right\} \quad (4)$$

$v$  étant la vitesse de propagation de l'onde acoustique dans le cristal de  $\text{TeO}_2$  ( $v = 617$  m/s) le long de l'axe de propagation  $x$ ,  $K_2$  une constante liée aux caractéristiques du déflexeur AO. Dans la relation (4)  $I_{\text{incident}}$  est défini par :

$$I_{\text{incident}} = \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} E(\sigma) d\sigma$$

l'intégrale (5) étant évaluée sur l'intervalle spectral  $\{\sigma_1, \sigma_2\}$  sur lequel émet la diode laser.

L'intensité lumineuse décrite par l'éq. (5) est analysée par les deux décodeurs. Ceux-ci se comportent comme des interféromètres à polarisation réglés sur des retards optiques  $D_1$  et  $D_2$ . L'énergie lumineuse à la sortie des décodeurs est intégrée dans le temps par les deux CCD :

$$\text{CCD}_1 : E_1'(x) = \frac{1}{2} \int_0^T I_d \{1 + \cos 2\pi\sigma D_1\} d\sigma dt \quad (6)$$

$$\text{CCD}_2 : E_2'(x) = \frac{1}{2} \int_0^T I_d \{1 + \cos 2\pi\sigma D_2\} d\sigma dt$$

où  $T$  est la durée d'intégration des barrettes CCD. Le calcul des expressions (6) et (7) montre que le signal délivré par les barrettes CCD comporte une composante continue à laquelle se superpose une composante modulée. Celle-ci s'écrit :

$$\text{pour la CCD}_1 : e_1(x) \propto \int_0^T V_1(t) V_3 \left( t - \frac{x}{v} \right) dt = C_1 \left( \frac{x}{v} \right) \quad (8)$$

$$\text{pour la CCD}_2 : e_2(x) \propto \int_0^T V_2(t) V_3 \left( t - \frac{x}{v} \right) dt = C_2 \left( \frac{x}{v} \right) \quad (9)$$

Les signaux délivrés par les barrettes CCD sont donc, à un fond continu près, les fonctions de corrélation décrites par les équations (2) et (3). Celles-ci sont affichées simultanément sur les barrettes CCD du corrélateur ; la durée du calcul est donnée par le temps d'intégration  $T$  des barrettes CCD. Celui-ci doit être au moins égal à la durée des signaux à traiter.

Une discussion plus détaillée des conditions de fonctionnement du système sera donnée ailleurs, en particulier en ce qui concerne les conditions que doivent remplir les lames biréfringentes  $Q_1, Q_2, Q_3$  et  $Q_4$  en fonction du nombre de modes longitudinaux de la diode laser pour optimiser la diaphonie entre les canaux de traitement. Notons par ailleurs que le nombre de canaux de traitement peut être supérieur à deux.

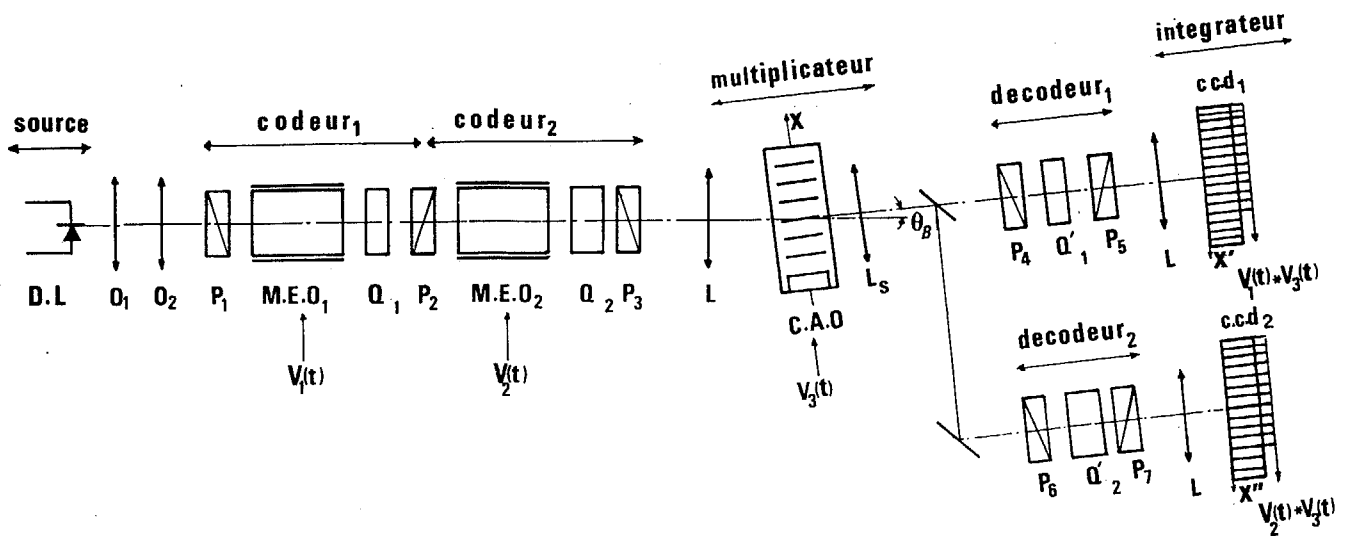
Les premiers résultats expérimentaux ont porté sur le calcul de produits de corrélation de signaux audio et vidéo-fréquences. La figure 2 représente la corrélation (a) de deux signaux sinusoidaux de fréquence 2MHz, et (b) de deux signaux rectangles de

fréquence 2MHz. La figure 3 montre le produit de corrélation obtenu lorsqu'un signal sinusoidal est corrélié avec le même signal en présence d'un bruit additif simulant un brouillage ou un bruit de détection. On sait que dans ce cas l'intérêt d'une détection par corrélation, par rapport à une détection directe réside dans l'augmentation du rapport signal sur bruit (d'un facteur  $BT$ , avec  $B$  : bande passante du signal, et  $T$  : durée du signal). Le résultat expérimental donné à la figure 3b représente le produit de corrélation alors obtenu, dans lequel on retrouve le signal sinusoidal de départ, après élimination du bruit. Un autre exemple est donné à la figure 4 dans le cas de signaux formés d'impulsions répétitives.

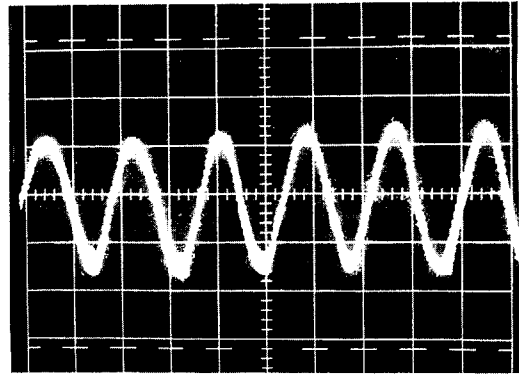
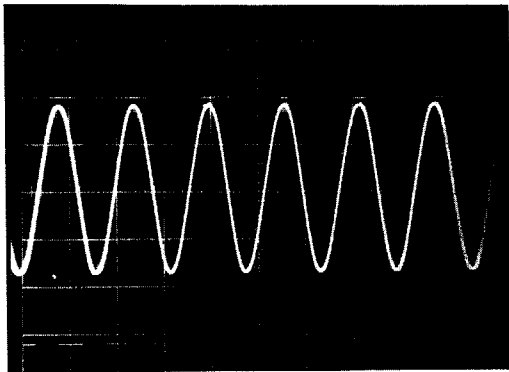
En conclusion, les expériences décrites dans cette phase préliminaire démontrent la possibilité d'utiliser une technique de multiplexage de cohérence pour effectuer en parallèle et en temps quasi réel des opérations de corrélation entre signaux électriques. Le nombre de canaux de traitement peut être supérieur à deux, en augmentant le nombre de codeurs mis en série et réglés sur des retards optiques supérieurs à la longueur de cohérence de la source. L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'une source unique (ici une diode laser multimode) est utilisée pour effectuer plusieurs opérations simultanément. Le "poids" relatif des pics de corrélation alors obtenus ne dépend que des signaux traités et, en particulier, est indépendant de l'énergie lumineuse émise par la source, à la différence des corrélateurs acousto-optiques multicanaux décrits jusqu'à présent qui exigent un équilibre rigoureux de l'intensité lumineuse entre chaque canal de traitement. Une comparaison directe et rapide des pics de corrélation obtenus en sortie du système est alors possible, par exemple pour les opérations de reconnaissance et de détection de signaux. La suite de ce travail porte sur l'extension de la méthode vers les problèmes d'analyse spectrale à haute résolution par l'algorithme chirp. Par ailleurs, l'intégration des composants (modulateurs électro-optiques et acousto-optiques) sur  $\text{LiNbO}_3$  est actuellement en cours pour augmenter les bandes passantes du système, actuellement limitées à une dizaine de MHz.

#### REFERENCES

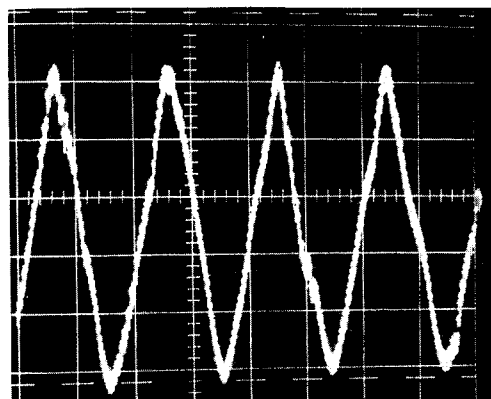
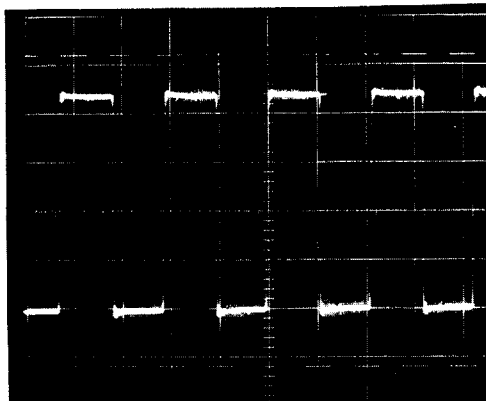
- 1 - voir par exemple W.T.Rhodes, Proc.IEEE, 69,1 (1981) 65-79
- 2 - R.Sprague, C.L.Koliopoulos, Applied Optics, 15,1 (1976), 89-92
- 3 - P.Cielo, C.Delisle, Canadian J. of Physics, 54, 23, pp. 2322-2331 (1976).
- 4 - J.P.Goedgebuer, J.Salcedo, J.Ch.Viénot, Optica Acta, 29, 4, pp.471-477 (1982) ; J.P.Goedgebuer, R.Ferrière, H.Porte, J.Optics, 15, pp.403-407 (1984).
- 5 - H.Porte, J.P.Goedgebuer, A.Hamel, Electronics Letters, 22,22,pp.1189-1191 (1986).
- 6 - J.P.Goedgebuer, H.Porte, A.Hamel, IEEE J. of Quantum Electronics (soumis)
- 7 - J.L.Brooks, R.H.Wentworth, R.C.Youngquist, M.Tur, B.Y.Kim, H.J.Shaw, IEEE J.of Lightwave Technology, LT 3, pp.1062-1072 (1985).
- 8 - A.D.Kersey, A.Dandridge, Electronics Letters, 22, 11, pp. 616-617 (1986).



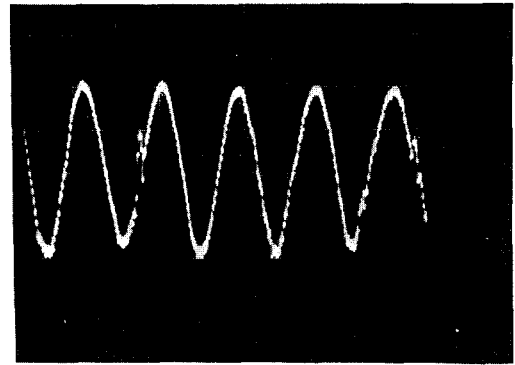
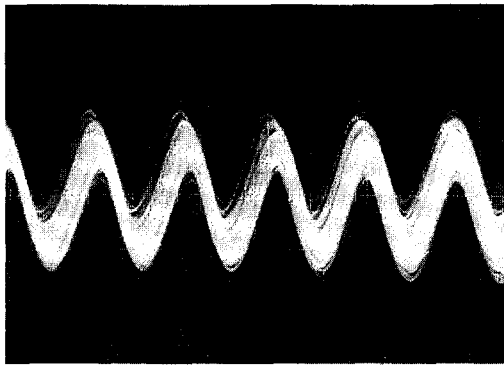
**Figure 1:** Schéma de principe du dispositif expérimental. Les signaux à corréler  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$  sont introduits au niveau des codeurs 1 et 2 au moyen de modulateurs électro-optiques MEO 1, 2 placés entre polariseurs. A chaque modulateur est associée une lame de quartz biréfringente ( $Q_1, Q_2$ ) dont la différence de marche joue le rôle de porteuse pour les signaux  $V_1$  et  $V_2$ . Les multiplications  $V_1 \cdot V_3$  et  $V_2 \cdot V_3$  sont réalisées de façon analogique par la cellule acousto-optique CAO. Les deux voies sont décodées en parallèle par des interféromètres à polarisation dont les lames de quartz  $Q'_1$  et  $Q'_2$  sont accordées sur  $Q_1$  et  $Q_2$ . L'intégration des produits  $V_1 \cdot V_3(t-x/v)$  et  $V_2 \cdot V_3(t-x/v)$  sont réalisées par les barrettes de photodiodes CCD 1 et CCD 2.



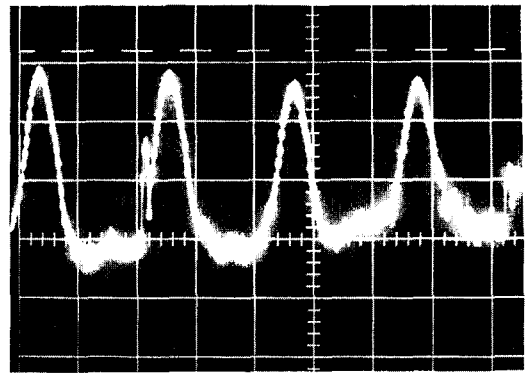
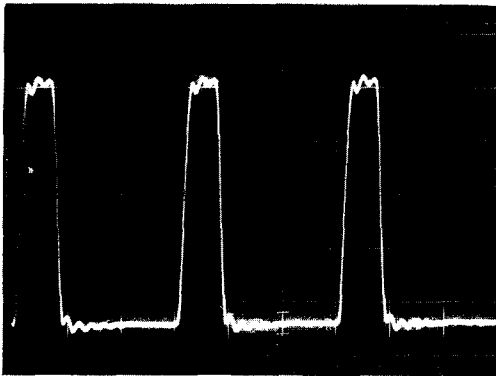
**Figure 2-a :** Fonction d'autocorrelation d'un signal sinusoïdal de fréquence 2MHz. A gauche le signal d'entrée, à droite le signal de corrélation à la sortie de la barette CCD.



**Figure 2-b :** Corrélation de deux fonctions rectangles de fréquence 2MHz. Le signal de corrélation (à droite) est une fonction triangle de période double.



**Figure 3 :** Debruitage d'un signal par correlation. Le signal d'entrée (à gauche) est composé d'un signal sinusoidal de fréquence 2MHz affecté d'un bruit additif de bande 100kHz; la fonction de correlation (à gauche) restitue le message sans bruit.



**Figure 4 :** Exemple de correlation d'un train d'impulsions périodiques de forme quelconque